

高等学校教材

自动测试系统 与 可编程仪器

孙 续 编著

电子工业出版社

高等学校教材

**自动测试系统
与
可编程仪器**

孙 续 编著

电子工业出版社

内 容 提 要

本书全面地阐述了自动测试系统与可编程仪器的原理和应用,全书共七章:前三章介绍了 GPIB(IEC-625、IEEE-488)系统的基本知识,包括系统组成、基本特性、消息传递和接口功能等。第四、五章介绍可编程仪器,重点介绍智能仪器的组成、工作原理和远地控制。第六章结合大量实例,介绍了自动测试系统的组建和编程。第七章讨论自动测试系统的检测和发展,重点介绍了刚刚出现并正在迅速发展的 VXI 系统。

本书内容丰富、新颖,论述深入浅出、简明实用,是高等学校通信与电子类本科生、研究生教材,还被中国电子学会教育工作部定为在职科技人员继续教育教材,也可供从事电子测量和使用现代电子仪器的科技人员参考。

自动测试系统与可编程仪器

孙 续 编著

责任编辑 魏永昌

电子工业出版社出版(北京市万寿路)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国科学院印刷厂印刷

开本: 850×1168 毫米 1/32 印张: 13.875 字数: 371 千字

1990 年 8 月第 1 版 1990 年 8 月第 1 次印刷

印数: 2200 册 定价: 3.50 元

ISBN7-5053-0873-4/TN·314

出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作分工的规定,我部承担了全国高等学校、中等专业学校工科电子类专业教材的编审、出版的组织工作。由于各有关院校及参与编审工作的广大教师共同努力,有关出版社的紧密配合,从1978年至1985年,已编审、出版了两轮教材,正在陆续供给高等学校和中等专业学校教学使用。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应“三个面向”的需要,贯彻“努力提高教材质量,逐步实现教材多样化,增加不同品种、不同层次、不同学术观点、不同风格、不同改革试验的教材”的精神,我部所属的七个高等学校教材编审委员会和两个中等专业学校教材编审委员会,在总结前两轮教材工作的基础上,结合教育形势的发展和教学改革的需要,制订了1986—1990年的“七五”(第三轮)教材编审出版规划。列入规划的教材、实验教材、教学参考书等近400种选题。这批教材的评选推荐和编写工作由各编委会直接组织进行。

这批教材的书稿,是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中经院校推荐,由编审委员会(小组)评选择优产生出来的。广大编审者、各编审委员会和有关出版社为保证教材的出版和提高教材的质量,作出了不懈的努力。

限于水平和经验,这批教材的编审、出版工作还会有缺点和不足之处,希望使用教材的单位,广大教师和同学积极提出批评建议,共同为不断提高工科电子类专业教材的质量而努力。

机械电子工业部教材办公室

前 言

本教材系按电子工业部的工科电子类专业教材 1986~1990 年编审出版规划,由无线电技术与信息系统教材编审委员会仪表与测量编审小组征稿、评选、推荐出版的。责任编委蒋焕文教授。

本教材由北方交通大学孙续编著,该校蒋焕文教授担任主审。

本教材是为适应电子测量和仪器的迅速发展,为通信和电子类非仪器制造专业的本科生、研究生撰写的,教学参考学时为 40 学时。

全书共七章,可分为四个部分:

第一部分包括前三章,用来介绍自动测试系统的基本知识。其中第一章介绍自动测试系统的产生和发展,以及 GPIB(IEC-625、IEEE-488)系统的组成和基本特性。第二章以消息传递为纲,全面介绍了 GPIB 系统的工作原理。第三章介绍接口功能,采用分层次的方法,重点突出最重要、最常用的内容。

第二部分包括四、五两章,用来介绍可编程仪器。第四章重点介绍智能仪器的组成结构、面板控制、输出显示和仪器功能与微计算机的关系,并结合实例进行了具体的讨论,也对八十年代以来兴起的个人仪器及它与 GPIB 系统的关系进行了扼要介绍。第五章的重点是可控仪器的远控特性,包括接口功能的配置、实现方法及编码和格式惯例,并给出几种典型可控仪器实例。

第三部分(第六章)结合大量实例,介绍了自动测试系统的组建和编程知识。

第四部分(第七章)介绍了自动测试系统的检测和发展,其中对 1987 年提出、并正在迅速发展的模块式仪器自动测试系统——

VXI 系统给予了重点介绍。

本书是根据作者多年来从事大学生、研究生教学工作的实践，并参考了近年来国内、外有关资料撰写的，其中部分内容曾作为1985年北方交通大学为全国高校讲师以上教师举办的电子测量研讨班资料。作者深感在电子测量和仪器飞速发展的今天，自动测试和可编程仪器知识，已不单纯为从事测量和仪器制造的人员所需要，而且成为广大电子科技工作者和仪器使用人员的必备知识。本书正是从以应用为主的角度，对这些问题进行了介绍，力争阐述突出物理概念和深入浅出、简明实用。本书除作为高等学校教材外，中国电子学会教育工作部还决定将它作为在职科技人员继续教育的教材，也可供从事电子测量或使用现代电子仪器的科技人员参考。

主审蒋焕文教授对全书进行了认真审阅，提出了宝贵的指导性意见。他还担任本书的责任编委，为它的顺利出版付出了辛勤的劳动。北方交通大学通信与控制工程系电子测量与仪器教研室徐琨、罗来珩、杨义浦、吴北玲等同志也为本书提供过许多帮助，在此表示衷心感谢！

由于作者水平所限，书中难免存在错误和不足之处，殷切希望广大读者批评指正。

作者

1990年2月于北方交通大学

目 录

第一章 迅速发展的自动测试系统	1
第一节 自动测试系统的产生和发展.....	1
一、对自动测试的迫切需要	1
二、自动测试系统的发展	4
第二节 GPIB 系统概述	16
一、从人工测试到自动测试	10
二、GPIB 系统的组成	13
三、GPIB 系统的基本特性	20
第二章 通用接口系统中消息的传递	23
第一节 器件内部功能的划分和消息的分类.....	23
一、器件内部功能的划分	23
二、GPIB 系统内消息的分类	25
三、消息的发送和接收	30
第二节 多线消息及其编码.....	33
一、多线接口消息	34
二、器件消息	43
第三节 挂钩母线及管理母线传递的消息.....	48
一、挂钩母线和挂钩消息	48
二、三线挂钩的工作过程	50
三、管理母线传递的消息	56
第四节 自动测试系统的基本操作和相应消息序列.....	60
一、器件消息传递序列	61
二、远地控制和本地控制的转换	62
三、服务请求和串行查询序列	63

四、并行查询序列	65
五、器件清除和器件触发	69
第三章 通用接口系统中的接口功能	72
第一节 接口功能概述	73
一、接口功能的基本概念	73
二、接口功能的状态图表示法	75
第二节 五种主要接口功能	78
一、讲者接口功能	78
二、听者接口功能	86
三、控者接口功能	91
四、源方挂钩接口功能	106
五、受方挂钩接口功能	113
第三节 五种辅助接口功能	119
一、服务请求接口功能	119
二、远地/本地接口功能	122
三、并行查询接口功能	126
四、器件清除接口功能	130
五、器件触发接口功能	132
第四章 智能仪器及个人仪器	134
第一节 微计算机化仪器	134
第二节 智能仪器	137
一、智能仪器的组成结构	137
二、智能仪器的面板控制和输出显示	138
三、智能仪器的仪器功能	149
四、智能仪器实例	163
第三节 个人仪器	192
一、个人仪器的崛起	192
二、个人仪器与个人仪器系统的构成	193
三、插件式仪器的广阔前景	197
第五章 可编程仪器及其远地控制	200

第一节 接口功能的配置	201
一、仪器接口功能的选配	201
二、接口功能子集	204
第二节 接口功能的实现	208
一、概述	208
二、采用大规模集成电路实现接口功能	209
三、接口功能的其它实现方法	219
第三节 编码和格式惯例	230
一、由数据拜特构成的消息单元	232
二、数据的表示法及编码	234
三、状态数据的结构和编码	239
第四节 可控仪器及其远控特性实例	240
一、Fluke 8520A 数字多用表	241
二、HP 3325A 合成器/函数发生器	248
第六章 自动测试系统的组建和测试程序的编制	265
第一节 自动测试系统的组建	266
一、组建自动测试系统的准备工作	266
二、组建自动测试系统的几项主要工作	267
第二节 用 IBM PC 担任控者及其编程——DS-GPIB 介绍	273
一、引言	273
二、DS-GPIB 接口板的硬件配置	275
三、DS-GPIB 的软件及其装配	278
四、GPIB 功能调用及编程实例	285
第三节 采用 HP BASIC 4.0 语言编程	295
一、HP BASIC 4.0 语言选介	296
二、采用 HP BASIC 4.0 编程实例	311
第四节 使用 BASIC 语言编程	316
一、使用 BASIC 语言编程的主要特点	316
二、使用 BASIC 语言程控仪器——实例之一	320

三、用 BASIC 语言编写自动测试程序——实例之二	325
第五节 其它扩展 BASIC 语言编程实例及测试程序调试	330
一、副地址使用实例	331
二、服务请求处理程序实例	333
三、测试程序调试简介	336
第七章 GPIB 系统的检测和自动测试系统的发展	338
第一节 自动测试系统的检测	338
一、GPIB 系统的检测要求	339
二、用逻辑分析仪检测 GPIB 系统	341
三、用专用 GPIB 分析仪器进行检测	353
第二节 IEEE 488.1 及 488.2 的公布及自动测试系统的 发展	358
一、IEEE 488.1 及 488.2 标准简介	358
二、GPIB 系统的发展	362
三、第三代自动测试系统的原理与应用	366
第三节 采用 VXI 母线的模块式仪器系统	377
一、VXI 母线的产生背景	377
二、VXI 系统的组成结构	381
三、VXI 系统中的母线、器件和通信规程(协议)	388
四、未来测试系统的设想	393
附录	396
附录一 远地消息编码表	396
附录二 本地消息一览表	403
附录三 信息处理交换用的七位编码字符集(ASCII 码表) 及 ATN = 1 时相应接口消息	404
附录四 最大时限和最小时限时值表	405
附录五 接口功能子集及其具有的能力	406
附录六 HP 9836A 微计算机的基本操作	408
附录七 掌握仪器远控特性练习参考材料	417

习题..... 421

 第一章习题..... 421

 第二章习题..... 421

 第三章习题..... 422

 第四章习题..... 424

 第五章习题..... 425

 第六章习题..... 426

 第七章习题..... 427

参考文献 429

第一章 迅速发展的自动测试系统

第一节 自动测试系统的产生和发展

通常把在人工最少参与的情况下，能自动进行测量、数据处理，并以适当方式显示或输出试测结果的系统称为自动测试系统(ATS——Automated Test System)。在这种系统中，整个测试工作通常都是在预先编制好的测试程序统一指挥下自动完成的。

在自动测试系统中的各种设备大多可以程控，称为自动测试设备或可程控设备。采用这种系统进行测试时，人的作用主要是根据测试任务组建系统和编制测试软件。系统一旦正常工作，它的各种操作一般都由系统本身自动完成。

自动测试系统的产生和发展，是电子测量与现代科技及现代大生产相结合的产物，也是测量科学与计算机科学相互作用的结果。

一、对自动测试的迫切需要

随着科学技术和生产的发展，对电子测量提出了越来越高的要求。特别是六十年代以来，电子计算机的广泛应用，在各个领域引起一连串深刻的反响。测试内容日趋复杂，测试工作量急剧增加，对测试设备在功能、性能、测试速度、测试准确度等方面的要求也日愈提高。在这种形势下，传统的人工测试已经很难满足要求，发展自动测试成为必然的出路。对自动测试的迫切需要主要表现在以下方面：

(1) 测试任务复杂、工作量大，对测试系统的功能、性能要求

越来越高。例如有些大规模或超大规模集成电路,每个单片上有十万个以上的元件,电路构造复杂,需要测试的参数很多。其中有些集成电路的测试,还需要在复杂的定时条件下加入多种输入信号,通过有限的端子,在规定的时间内快速进行多种测试。这些若采用人工测试,就不仅是费时、费事的问题,而是往往无法完成测试要求。又如近代相控阵雷达,可以有上万个天线振子,如果对每个天线的阻抗、驻波、相位等参数用传统人工方法测量,一个人就要用上百年时间,只有采用自动测试装置才能对它进行全面的测量。

随着生产规模增加、产品复杂程度提高,生产领域的测试也日趋繁重。对生产过程和产品的测试、检验手段是否完善,是提高经济效益、维护产品信誉和增加竞争力的重要方面。在现代化大生产中,用于测试的工时和费用均约占20~30%。现代国防武器,如导弹、飞机上的电子设备,其价值甚至可能占整体的60~70%,其中主要是测试和控制设备。在这些领域中采用自动测试技术,不仅可以解决很多测试中遇到的困难,降低测试的工时和费用,而且对国民经济的发展也会起到良好的作用。

在自动测试系统中通常采用计算机(主要是微计算机)控制,具有很强的实时控制、逻辑判断、记忆存储和运算处理能力。这种系统可按事先编好的程序快速、准确地进行操作,可以自动切换测试点和进行巡回检测,容易适应测试内容复杂、工作量大的要求。另一方面,利用计算机的功能,还可以把一些复杂的测试加以简化。例如对一个原来要求测几十种参数的任务,可以只直接测几个参数,然后通过计算机算出其它所需要的多种参数来,降低了测试任务的复杂性。

(2) 要求测试速度快。在现代科技和生产领域,对测试速度要求越来越高。且不说象空间对抗、宇宙航天等要求速度极快的测试,就是在生产领域,现代化大生产的控制系统、监视系统也往

往要求很高的测量速度。在传统的人工测试中，一般只能先取得测量数据，再经过人工分析数据，最后才能根据分析的结果去调整或改进生产过程。但是现代化的生产线往往要求实时检测和自适应处理。在自动测试系统中，用计算机指挥操作，还可以自动校准、自动调整测试点、自动切换量程和频段，自动记录和处理数据，测试速度通常比人工测试快几十到几百倍。只有采用自动测试，才能提供足够快的速度进行实时测量、实时处理和实时控制，使测试、分析和测试结果的应用融为一体。

此外，随着对测量精度要求的提高，往往要求在相同条件下对被测量进行多次测量，取其平均值作为测量值。在这种情况下，只有提高测量速度才能保证其多次测量真正处于相同的条件下，即保证等精度测量。自动测试的高速度为短时间内多次测量及平差处理提供了条件。

(3) 要求测量的准确度高。自动测试系统首先是在那些对测试要求严格的军事部门发展起来的。在这些部门中，测试人员的疏忽可能造成严重的后果。采用自动测试系统，可以严格按照程序自动操作，避免操作人员由于测试技术、生理上的分辨能力及偶然疏失造成的误差，即使非熟练人员上机操作，通常对测试结果也不会产生影响。

随着科学技术的发展，在军事和非军事的各个领域，对测量准确度的要求都越来越高了。在很多情况下，如果误差超过一定的范围，测量就变得毫无意义。众所周知，除了由于疏失等原因造成的粗大误差外，测量误差主要有系统误差和随机误差两大类。系统误差是在测量条件改变时按确定规律变化的误差。自动测试系统正可以把这种规律存储起来，在测试过程中加以修正，还可以通过自动校准克服某些系统误差的影响。另一方面，随着测试速度的提高，测量条件变化引起的误差也会减小。单次测量的随机误差没有规律，但多次测量的随机误差是相互抵偿的。自动测试系

统用快速多次测量求平均值的方法,正可以削弱随机误差。

(4) 要求长期进行定时或不间断测试。为了发现一些偶然出现的异常情况或间歇性故障,或者为了监测某些不定期出现的客观现象,在生产和科技领域常要求长期进行定时的或不间断的测试。即使测试人员责任心很强,这种测试也是困难的,例如曾经有过某石油化工厂由于电磁阀间歇短路造成较大损失的报导。类似的故障,只有采用自动测试才容易及时发现、及时报警或及时转入处理故障的中断服务程序。

在计量工作和科研、生产中也常有一些要求长期按时测量的任务,例如频率源长期稳定度的测量,物质衰变时间的测量等等。对于类似情况,如用人工测试不但繁琐、枯燥,而且难于严格按照规定执行。在自动测试系统中,则可利用计算机控制定时电路,按时开启测试程序。对于要求连续测试或监测的场合,则可在循环程序中进行。运用计算机的逻辑判断和数据处理等功能,还可在测试程序中加入条件转移、中断处理等方式,使测试工作既严格准确又灵活方便。

(5) 危险或测试人员难于进入测试场地的测试。随着人类活动或探索领域的扩展,要求测试的范围也不断扩大。其中有些具有一定的危险性或有损测试人员健康的地方,即有些测试人员难于进入的场合。例如对核爆炸现场、海底、高寒山区、高炉、管道内部的测试,均可通过自动测试取得结果。

客观的需要是科学技术发展的最大动力,正是上述迫切需要促进了自动测试系统的产生和发展。

二、自动测试系统的发展

(一) 科学技术的发展为测试自动化提供了条件

科学技术的发展,特别是电子科学的发展,一方面不断地向测

试和测量(主要是电子测量)提出新任务、新课题,要求它实现自动化;另一方面科学技术中的新理论、新技术、新器件、新材料、新工艺又为电子测量自动化的发展准备了条件,形成相辅相成不可分割的关系。

(1) 计算机科学和大规模集成电路技术的发展,为测试自动化准备了最重要的条件。在自动测试系统中,首先需要解决如何代替人工组织测试的问题。电子计算机具有实时控制、逻辑判断、数据存储、信息处理、数字运算、人工智能等多种功能,利用它可以方便地对测试系统进行编程控制。特别是七十年代以来,超大规模集成电路的发展产生了体积小、价格低的微计算机和单片计算机。把它们用于自动测试系统,可以代替人工控制测试过程,而且通常还可以使测试质量得到改进。

在自动测试系统中还需要解决仪器、设备间的接口问题。如果采用分立元件或中小规模集成电路,接口电路的设计、调试都比较复杂。近代大规模集成电路技术的发展,提供了多种用于自动测试的接口芯片,使接口电路的实现变得简单、方便。这也是促进自动测试系统发展的一个重要条件。

(2) 近代理论研究和应用科学的成果,特别是电子科学技术的成果,从多方面为测试自动化作了准备。现代系统工程理论、可靠性理论、控制论、信息论等理论研究和现代科技中的数字技术、传感技术、自动控制和调节技术、编码技术、接口技术、A/D 和 D/A 变换技术的发展、一些数字化、小型化、固体化元器件及电调、电控等多种新器件的生产,都从多方面为自动测试系统的发展提供了条件。

(3) 测量技术,特别是电子测量技术本身的发展为测试自动化提供必不可少的条件。微计算机化仪器(主要是智能仪器和个人仪器)的发展,数字化、自动化仪器仪表的普遍应用,频率合成技术、取样技术、扫频技术、频段和量程的自动选择技术等很多新技

术的发展和采用,都为发展自动测试系统作了直接的准备。

自动测试系统的产生和发展涉及多种学科,运用和吸收了很多领域的新科技成果。特别是它的发展过程和具体实现都与电子计算机的发展和运用有着十分紧密的联系。因此,有人把采用计算机的自动测试叫做计算机辅助测试(CAT)。

(二) 自动测试系统的发展概况

自动测试系统的研制工作可以追溯到五十年代甚至再早一些,只是到了六十年代,在系统中采用了电子计算机以后,才真正构成比较完善的自动测试系统。从那时起到现在,经历的时间虽然不算太长,但却得到了迅速的发展和普及。它的发展大体上可以分为三个阶段。

1. 第一代自动测试系统

早期的自动测试系统多为专用系统,是针对某项具体测试任务而设计的,通常称为第一代自动测试系统。它主要用于要求大量重复测试、要求可靠性高的复杂测试,或者为了提高测试速度及工作于测试人员难于停留的场合。常见的第一代自动测试系统,主要有数据自动采集系统、产品自动检验系统、自动分析及自动监测系统等等。

第一代自动测试系统至今仍在应用,它们能完成大量的、复杂的测试任务,承担繁重的数据分析、信息处理工作,快速、准确地给出测试结果。在测试系统功能丰富、性能提高、使用方便等很多方面比人工测试有明显改进,甚至可以完成不少人工测试无法完成的任务,显示出很大优越性。

设计和组建第一代自动测试系统也存在不少困难,主要是系统组建者需自行解决仪器与仪器、仪器与计算机之间的接口问题。当这种系统比较复杂,需要程控的设备较多时,研制工作量很大,所需费用亦较昂贵。更重要的是,这种系统适应性不强,改变测试